

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

REÇU 13 OCT. 2003
OMPI PCT



PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

EP03/08419

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 34 744.1

Anmeldetag: 30. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Elgo-Electric GmbH Positionier- und Längenmeßsysteme GmbH, Rielasingen-Worblingen/DE

Bezeichnung: Vorrichtung zur Positions- und/oder Längenbestimmung

IPC: G 01 B, G 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Stanschus
Stanschus

Vorrichtung zur Positions- und/oder Längenbestimmung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Positions- und/oder Längenbestimmung nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Derartige Vorrichtungen werden insbesondere in einem industriellen Kontext zur Längenmessung verwendet, etwa typischerweise im Zusammenhang mit dem Feststellen von Bewegungen bzw. verfahrenen Längen einer Werkzeugmaschine oder bei entsprechenden Messaufgaben an einer fördertechnischen Anlage.

Derartige Längenmesssysteme weisen typischerweise eine Trägereinheit auf, welche mit einer magnetischen Längencodierung versehen ist. Eine derartige Längenmessvorrichtung ist beispielsweise aus dem deutschen Gebrauchsmuster 200 12 703 der Anmelderin bekannt.

Ferner sind aus dem Stand der Technik derartige Vorrichtungen bekannt, welche eine absolute magnetische Codierung aufweisen, beispielhaft sei auf die offengelegte deutsche Patentanmeldung 197 32 713 der Anmelderin verwiesen.

Derartige absolute Codierungen weisen gegenüber relativ codierten Systemen den Vorteil auf, dass End- bzw. Referenzpositionen nicht erfasst werden müssen, sondern aus einer aktuellen Position eines Sensorkopfes unmittelbar auf die Position entlang der Trägereinheit mit der Längencodierung geschlossen werden kann.

Allerdings weisen derartige, aus dem Stand der Technik bekannte und als gattungsbildend angenommene Vorrichtungen den Nachteil auf, dass zur Erreichung einer absoluten magnetischen Längencodierung typischerweise mindestens zwei parallele Spuren der Längencodierung vorgesehen sein müssen, um eine sinnvolle Längenauflösung bei der gewünschten

Absolutcodierung zu realisieren. Dadurch wird jedoch zum einen die Trägereinheit problematisch in der Realisierung (und eignet sich insbesondere nur noch schlecht für gebogene, mit der Längencodierung versehene Trägereinheiten), und zudem wird der mit der magnetischen Mengencodierung zusammenwirkende Sensorkopf voluminös, unhandlich und damit potentiell problematisch zu führen und zu steuern.

Ein weiterer Nachteil von Absolutcodierungen, insbesondere solchen, die mittels eines sog. Zufallscodes bzw. Pseudo-Zufallscodes erzeugt werden, liegt darin, dass aufgrund einer relativ unsymmetrischen Verteilung von mit der jeweiligen Polarität magnetisierten Codierungsabschnitten es zu Magnetisierungsinhomogenitäten kommen kann, insbesondere im Hinblick auf eine sog. Intersymbolinterferenz (das Magnetignal kleinerer Pole wird durch benachbarte große, d. h. mehrere gleichpolige Flächen beeinträchtigt). Dies wiederum beeinträchtigt die Ablesesicherheit von der Trägereinheit.

Gerade jedoch im industriellen Produktionsumfeld ist Zuverlässigkeit und Störungsfreiheit von großer Bedeutung, so dass es hier beträchtlichen Vereinfachungs- und Verbesserungsbedarf gibt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine gattungsbildende Vorrichtung zur Positions- und/oder Längenbestimmung mit einer absolute magnetische Längencodierung aufweisenden Trägereinheit dahingehend zu verbessern, dass diese gegenüber bekannten, gattungsbildenden Vorrichtungen einfacher und kompakter realisiert werden kann, gleichzeitig jedoch eine hohe (oder sogar verbesserte) Längenauflösung ermöglicht und insbesondere auch unter schwierigen Betriebsbedingungen sowie in einem Abstand von der Trägereinheit, unbeeinträchtigt durch magnetische Überlagerungseffekte, zuverlässig abgelesen werden kann.

Die Aufgabe wird durch die Vorrichtung mit den Merkmalen des Hauptanspruchs gelöst; vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

In erfindungsgemäß vorteilhafter Weise ist zunächst die Trägereinheit langgestreckt und stangenförmig ausgebildet, so dass sie insbesondere auch unmittelbar durch eine Kolbenstange od. dgl., welche als wirksames Aggregat gleichermaßen mit der Längencodierung versehen ist, implementiert werden kann. Entsprechend ist die Längencodierung dort radial magnetisiert, d.h. bezogen auf eine sich längs durch die Trägereinheit erstreckende Längsachse ist eine Magnetisierung in radialer Richtung jeweils gleich, und einzelne magnetisierte Abschnitte folgen entlang der Längsrichtung aufeinander.

Erfindungsgemäß ist nun die Längencodierung so realisiert, dass, mit einer regelmäßigen Polteilung, Codierungsabschnitte der ersten und der zweiten Polarität so aufeinander folgen, dass maximal zwei Codierungsabschnitte derselben Polarität einander unmittelbar benachbart auftreten. In der Praxis wird dies so realisiert, dass eine Absolutcodierung mittels eines sog. Pseudo-Zufallscodes zu einer binären Folge von Codierungsabschnitten führt, und nunmehr zwischen jeden dieser Codierungsabschnitte ein weiterer Codierungsabschnitt eingefügt wird, welcher in seiner Polarität jeweils umgekehrt dem Vorhergehenden (d.h. entgegen einer angenommenen Bewegungsrichtung benachbart) gepolt ist.

Dies führt dann zu einer Kombination einer Pseudozufallsfolge mit einer sogenannten Manchestercodierung, wobei die zusätzlich eingefügten Codierungsabschnitte gleichermaßen einen Takt der Längencodierung vorgeben.

Dies führt dann dazu, dass maximal zwei Codierungsabschnitte derselben Polarität einander unmittelbar benachbart auftreten, mit dem Ergebnis, dass nicht nur entlang der gesamten langgestreckten Trägereinheit jederzeit eine

zuverlässige Positionsbestimmung möglich ist (insbesondere auch eine saubere Interpolation in einem kurzen Streckenbereich) erfolgen kann), auch wird die oben diskutierte Intersymbol-Interferenz wirksam verhindert, denn ein aus maximal zwei gleichpoligen Codierungsabschnitten bestehendes magnetisches Segment wirkt sich nicht drastisch auf die saubere Ablesbarkeit eines einfachen Segments aus.

Weitere Vorteile, welche insbesondere auch durch die Weiterbildungsgemäß vorgesehenen Merkmale unterstützt werden, ermöglichen dann, dass eine Realisierung von schnell reagierenden bzw. mit kurzen Verarbeitungszeiten arbeitenden Systemen auf einfache Weise und mit preiswerten Bauelementen ermöglicht ist, insbesondere ist es möglich, ein einspuriges autoreferenzierendes System auf einfache Art und Weise zu realisieren.

Im Ergebnis wird durch die Erfindung erreicht, dass die Vorteile bisheriger absoluter Einspursysteme (schlanke Trägereinheit mit kompakten Sensorkopf sowie preiswerte Realisierung) mit Vorteilen von Zwei- bzw. Mehrspursystemen und deren hoher Auflösung kombiniert.

Im Rahmen einer bevorzugten Realisierungsform der vorliegenden Erfindung sind den den Codierungsabschnitten zugeordneten magnetischen Sensoreinheiten Auswahlmittel zugeordnet, die selbst eine Mehrzahl, insbesondere mindestens fünf, Interpolationssensoren aufweisen. Diese Interpolationssensoren ermöglichen es auf einfache und parallel zu verarbeitende Weise, dass, bei Abstand zwischen einem ersten und einem letzten der Abfolge von Interpolationssensoren von mehr als dem Zweifachen der Polteilung, genau der mindestens eine Polaritätswechsel in dem so aufgespannten Bereich detektiert werden kann; mithin ist es auf einfache Weise möglich, denjenigen einer Mehrzahl von Abtastsensoren auszuwählen, welcher eine Polarität des gegenüberliegenden Codierungsabschnitts korrekt und zuverlässig detektiert.

Weiterbildungsgemäß sind im Rahmen der Erfindung zusätzlich Mittel zur Fein-Positionsbestimmung innerhalb eines Codierungsabschnittes bzw. einer Polteilung vorgesehen. Insbesondere ermöglichen es diese Mittel, einen Magnetisierungsverlauf entlang dieses Codierungsabschnittes (entlang der Längsrichtung der Längencodierung) festzustellen, und daraus ein wegproportionales Interpolationssignal zu generieren. In der Praxis lässt sich damit eine Auflösung erzielen, welche ein Mehrfaches unter der durch die Polteilung ermöglichten physikalischen Auflösung der Längencodierung liegt.

Während die vorliegende Erfindung besonders geeignet in Werkzeugmaschinen oder fördertechnischen Anlagen ist, ist deren Anwendbarkeit mit der erfindungsgemäßen langgestreckten, stangenförmigen Trägereinheit, welche das einspurige absolute Längencodierungssystem realisiert, praktisch unbegrenzt für jegliche Maschine oder jegliches Aggregat geeignet, welche die vorbeschriebenen Vorteile ausnutzen kann.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten aus der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgender Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen; diese zeigen in

- Fig. 1 eine Perspektivansicht der langgestreckten, stanzenförmigen Trägereinheit zur Verwendung in einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung mit schematisch angedeuteter, radial magnetisierter Längencodierung;
- Fig. 2 ein Signaldiagramm von Sensoranordnungen und Sensorspannungen zur Auswertung und Interpolation der Längencodierung gemäß Fig. 1;
- Fig. 3 ein Sensorspannungs-Signaldiagramm eines MR-Sensors zur hochauflösenden Positions-Interpolation innerhalb einer Polteilung;
- Fig. 4 Ein schematisches Blockschaltbild mit Sensoren zur Code-Abtastung sowie Sensoren zur Feininterpolation sowie deren jeweils nachgeschalteter Komparator- und Auswerteeinheiten gemäß einer bevorzugten Realisierungsform der Erfindung;
- Fig. 5 Eine Darstellung analog Fig. 4 mit gegenüber der Position der Fig. 4 versetztem Sensorkopf sowie entsprechend umgeschalteter Auswahl der Multiplexereinheit;
- Fig. 6 Eine Darstellung analog Fig. 4, Fig. 5 mit gegenüber Fig. 5 weiter verschobenem Sensorkopf entlang der Trägereinheit und entsprechend anderem Absolut-Positionscode und
- Fig. 7 Eine Weiterbildung der Ausführungsform gemäß Fig. 4 bis 6, erweitert durch einen MR-Sensor für ein hochauflösendes System mit Interpolation.

Die in Fig. 1 exemplarisch gezeigte Trägereinheit, etwa der Bereich einer Kolbenstange od. dgl., weist erfindungsgemäß eine Codierung in Form einer Kombination aus Pseudozufallsfolge und Manchestercodierung auf. Konkret wird die in der Fig. 1 angewendete, radial magnetisierte Längencodierung (entlang der Längsrichtung „X“) so gebildet, dass, mit einer exemplarischen Polteilung $p=4\text{mm}$, eine n -Bit Pseudozufallsfolge als Digitalsignal erzeugt wird, welche 2^n-1 verschiedene Positionsgrade codiert; dieser Wert multipliziert mit der Polteilung (hier 4mm) ergibt dann die maximale Codierungslänge.

Ausgehend von dieser Folge wird dann hinter jeder Magnetisierung „0“ (der Vereinfachung halber werden im folgenden die den Polaritäten N bzw. S entsprechenden Signale binär als „1“ bzw. „0“ bezeichnet) eine Magnetisierung des Wertes „1“ eingefügt, und hinter jeder Magnetisierung des Wertes „1“ wird eine Magnetisierung des Wertes „0“ eingefügt; entsprechend dieser Bit-Folge erfolgt dann die Magnetisierung der Trägereinheit.

Konkret am Beispiel der Fig. 1 bedeutet dies, dass eine 8-Bit Pseudozufallsfolge „10110001“ (welche damit 255 Positionswerte, entsprechend 1.024mm bei $p=4\text{mm}$ codieren kann) durch Einfügen gemäß der obigen Regel in die folgende Bit-Folge modifiziert wird: „1001101001010110“. Diese Abfolge ergibt sich entsprechend aus der Darstellung der Fig. 1 mit radial magnetisierten Polen.

Ein Abtasten dieser Anordnung lässt sich nun wie folgt realisieren: Bei der Hardware-Umsetzung der Abtastung eines linearen Absolut-Codes werden im einfachsten Fall doppelt soviele Magnetsensoren (hier: Hall-Sensoren) eingesetzt, wie Bits abzutasten sind, wobei für jedes Bit zwei Sensoren im Abstand $p/2$ vorgesehen sind. Wenn einer der beiden Sensoren in der Nähe eines Polwechsels steht, also eine Sensorspannung annähernd 0 Volt liefert, ist dadurch sicherge-

stellt, dass der jeweils andere Sensor eine sichere Information durch ein eindeutiges (positives oder negatives) Spannungssignal liefern kann. Dies führt dazu, dass signaltechnisch zwei jeweils um $p/2$ versetzte Sensorkämme selektiv ausgewertet werden.

Das praktische Problem, bei der Auswertung der Sensorspannungen eines Einstellsystems den richtigen Sensorkamm auszuwählen, wird gemäß dem beschriebenen Ausführungsbeispiel durch die Bestimmung der Lage eines Nulldurchganges des Magnetfeldes relativ zum Sensorkopfursprung gelöst. Insbesondere nämlich, wenn der sogenannte einfache Pseudozufallscode, wie oben beschrieben, eingesetzt wird, kann es vorkommen, dass lediglich eine Nullstelle im Lesebereich des Sensorkopfes vorhanden ist, welche sich an beliebiger Stelle im durch die Mehrzahl von Magnetfeldsensoren aufgespannten Lesefenster befinden kann. Traditionell sind Hardwarelösungen hierfür relativ aufwendig, da die einzelnen Sensorspannungen typischerweise A/D gewandelt und dann mittels eines Mikrocontrollers gelesen und ausgewertet werden, welches, neben dem Hardwareaufwand, vor allem einen Zeitverlust bedeutet.

Bei der vorliegenden, erfindungsgemäßen Codierung ist sichergestellt, dass in einem Bereich von 10mm (bei $p=4\text{mm}$) mindestens eine Nullstelle auftritt. Wird entsprechend der Sensorabstand auf die halbe Polteilung eingerichtet, spannt eine Gruppe von sechs Magnetfeldsensoren (Hall-Sensoren) den 10mm-Bereich auf und misst dann zwischen dem ersten und dem letzten Sensor bei beliebiger Position entlang der codierten Trägereinheit mindestens eine Nullstelle.

In der Praxis des vorliegenden Ausführungsbeispiels wird dies durch einfache Komparatoren realisiert, welche eine binäre Ziffernfolge (entsprechend dem jeweiligen Ausgangssignal der aufeinanderfolgenden Sensoren bzw. Interpolationen dazwischen) erzeugen, wobei diese Ziffernfolge dann die

Polarität der Trägereinheit von der Stelle des ersten Sensors an in jeweils vorbestimmten Schritten angibt.

Dies soll anhand des Signaldiagramms in Fig. 2 erläutert werden; entlang der Horizontalen ist die Entfernung in Millimeterschritten aufgetragen (entsprechend sind die sechs Sensoren s0 bis s5 um jeweils 2mm beabstandet und spannen den Gesamtbereich von 10mm auf). Die Vertikale verdeutlicht die jeweils gemessene Sensorspannung des betreffenden Magnetfeldsensors.

Eine Interpolation in 0,5mm-Schritten geschieht dadurch, dass, gemäß der Anweisung aus Fig. 2, gewichtete Verknüpfungen zwischen den einzelnen Sensorspannungen $U(s_0)$, $U(s_1)$ usw. gebildet werden, wobei dann die jeweilige Summe mittels eines zugeordneten Komparators mit einer Schwelle für die Nullmagnetisierung (0 mT) verglichen wird. Derartige Komparatoren sind hardwaremäßig sehr einfach zu realisieren, arbeiten quasi-parallel und sind damit für eine sehr schnelle Positionsauswertung geeignet.

Konkret führt die Feininterpolation in 0,5mm-Schritten gemäß Fig. 2 zur folgenden Ziffernfolge: „0011111111111111“. Dies lässt sich dann so interpretieren, dass ein Südpol (Negativmagnetisierung) entlang des ersten Millimeters (zwei 0,5mm-Schritte) erfasst wird, und ab der Position 1mm erstreckt sich ein Nordpol. Etwa mithilfe eines EEPROM als Festwertspeicher lässt sich eine derartige Feininterpolation einfach und mit geringstem Aufwand in einen Fein-Positionswert für die Position des Nulldurchgangs decodieren; bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel liegt diese Position mit einer Auflösung von 0,5mm vor.

Wird nun das höchstwertige Bit eines betreffenden Feininterpolationswertes (hier: 2mm-Bit) für jeden Sensor ausgewertet, kann damit die Umschaltung zwischen den Sensorkämmen erfolgen, also die Auswahl desjenigen Sensors eines

Sensorpaars, welchem nunmehr -- zuverlässig -- die betreffende, zugehörige Magnetisierung erfasst wird. Konkret erfolgt dies dadurch, dass das wie beschrieben erzeugte Bitmuster einem 2:1-Multiplexer zugeführt wird, wobei dieser Multiplexer von dem beschriebenen 2mm-Bit zur Auswahl angesteuert werden kann.

Anhand der Fig. 4 bis 6 soll nunmehr eine praktische Realisierung und Auswertung des vorbeschriebenen Meß- und Positionsbestimmungsprinzips samt Feininterpolation und Umschaltung zwischen einem jeweils benötigten der Sensorpaare beschrieben werden. Dabei entspricht die in den Fig. 4 bis 6 sich horizontal erstreckend schematisch gezeigte Trägereinheit 10 der im Zusammenhang mit Fig. 1 beschriebenen Kolbenstange, die jeweiligen Magnetisierungsflächen wechseln sich in horizontaler Abfolge, entlang einer durch einen Pfeil 12 markierten positiven Zählrichtung, ab. Der Vereinfachung halber wird für das Beispiel der Fig. 4 bis 6 wiederum eine Grundpolteilung (Breite eines Codierungsabschnitts in Bewegungsrichtung) von 4mm gewählt. Bei einer herangezogenen 5-Bit Absolutauswertung führt dies zu insgesamt 31 verschiedenen Positionswerten (2^n-1), entsprechend zu einer maximalen Codierungslänge von $31 \cdot 4 = 124$ mm. Jedes Bit wird mit zwei Sensoren zur Codeabtastung SCi abgetastet, so dass, wie in den Fig. 4 bis 6 gezeigt, bei fünf Sensorpaaren insgesamt zehn Code-Abtastsensoren vorhanden sind. Die Fig. 4 verdeutlicht zusätzlich die geometrischen Verhältnisse: Die Sensoren eines jeweiligen Sensorpaars sind bei der gewählten Polteilung von 4mm jeweils 2mm voneinander entfernt; jeweilige Sensorpaare voneinander um 8mm.

Jedem der Code-Abtastsensoren SCi ($i=0 \dots 9$) ist, schematisch durch die Einheit 14 verdeutlicht, ein Komparator zugeordnet, welcher feststellt, ob eine anliegende Magnetfeld-Sensorspannung größer oder kleiner 0 Volt ist (entsprechend dem Magnetfeld-Schwellwert von 0 mT). Ent-

sprechend wird ein digitales Signal 1 oder 0 ausgegeben, welches der Komparatoreinheit 14 ausgangsseitig anliegt.

Eine nachgeschaltete Multiplexereinheit 16 empfängt dann eingangsseitig sämtliche Sensorsignale und selektiert jeweils zwischen einem oder dem anderen der Sensorpaare, gesteuert durch eine Auswahlbitleitung 18. Entsprechend wird im dargestellten Ausführungsbeispiel entweder auf die geradzahligen oder die ungeradzahligen der zehn Code-Abtastsensoren umgeschaltet, es ergibt ausgangsseitig des Multiplexers 16 ein eindeutiges 5-Bit-Codewort.

In einer nachgeschalteten Codetabelle 20, typischerweise mittels eines EEPROM realisiert, wird dann das (in der eingangs beschriebenen Weise codierte) Codewort in einen Absolut-Positionswert umgesetzt und in einer nachgeschalteten Verriegelungsschaltung 22 gespeichert; die absolute Positionsauflösung dieses 5-Bit-Wortes beträgt, entsprechend der Polteilung, 4mm.

Parallel findet, wie eingangs ebenfalls dargelegt, eine Feininterpolation mittels zusätzlicher Feininterpolationsensoren SF_j ($j=0 \dots 5$) statt, wobei diese Feininterpolationsensoren den Sensoren s0 bis s5 in Fig. 2 entsprechen. Der Zweck dieser Feininterpolation ist zum einen, die Auflösung der Absolutposition zu erhöhen, und zum zweiten wird mittels eines Feininterpolationswertes der sechs Sensoren SF_j eine Ansteuerung der Multiplexereinheit 16 und damit eine Umschaltung zwischen den jeweiligen Code-Abtastsensoren vorgenommen. Diese Schaltung wird im weiteren anhand des rechten Bereichs der Fig. 4 bis 6 erläutert.

Das Ausgangssignal jedes Feininterpolationssensors SF_j wird von einer Feininterpolations-Komparatoreinheit 24 erfasst und, wie oben bereits im Zusammenhang mit Fig. 2 erläutert, interpolierend ausgewertet. Dies bedeutet, dass auf der Basis der sechs erfassten Sensorsignale, jeweils Zwischensi-

gnale zwischen benachbarten Sensoren mithilfe geeignet eingestellter Widerstände erzeugt werden, dergestalt, dass im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein insgesamt 18-Bit breites Komparatorwort vorliegt, dessen jeweilige Bits entlang einer Sensorspannungskennlinie entsprechend Fig. 2 beschreiben, welche Polarität jeweils unter einem Feininterpolationssensor vorliegt, entsprechend damit die Schlussfolgerung ermöglicht, an welcher Stelle ein Wechsel der Polarität entlang des Trägers 10 erfolgt.

Konkret wird, wie durch die der Komparatoreinheit 24 zugeordneten, schematisch angedeuteten Formeln verdeutlicht, auf drei Schritte zwischen zwei Feininterpolationssensoren interpoliert, so dass im Ergebnis das schematisch gezeigte 18-Bit-Wort entsteht und in einer Verriegelungsschaltung 26 gespeichert wird.

Dieses Signal steht dann einer weiteren Decodierungseinheit 28 an, welche, idealerweise mittels einer EPROM-gespeicherten Tabelle, aus dieser Bitfolge ermittelt, wo (d.h. an welchem Ort entlang der durch die Interpolation erreichten Auflösung von 0,5mm-Schritten) der erste Polwechsel, mithin der erste Wechsel der Bitfolge von 1 auf 0 bzw. von 0 auf 1, erfolgt. Dieser bestimmt im Rahmen der vorliegenden Erfindung die Feinposition (im Ausführungsbeispiel bedeutet dies, dass, bei Polwechsel nach dem ersten Bit, die Feinposition 0mm wäre, nach dem zweiten Bit 0,5mm, nach dem dritten Bit 1mm usw.). Die Feininterpolation ist mit 4mm periodisch.

Entsprechend erzeugt die Decodierungseinheit 28 als 3-Bit-breites Ausgangs-Positionssignal damit die Feinposition innerhalb der 5-Bit-Absolutposition, welche ja die 4mm-Auflösung ermöglicht. Gleichzeitig wird, wie durch die Auswahlbitleitung 18 in den Fig. 4 bis 6 verdeutlicht, dass 2mm-Bit der Feinposition (als Ergebnis der Decodereinheit 28) verwendet, um die Multiplexereinheit 16 in den Umschaltbe-

trieb zwischen den Paaren der Code-Abtastsensoren umzuschalten.

Angesteuert wird die -- ohne einen Mikroprozessor realisierbare -- Einheit der Fig. 4 bis 6 durch einen Taktgenerator 30, welcher, vergleiche die Verzögerungsschaltung 32, zunächst die Verriegelungsschaltung 26 mit dem Taktignal T versieht, so dass das Bitsignal der Komparatoreinheit 24 erfasst werden kann, und daraufhin dann für die Verriegelungseinheit 22 den Ausgabetakt/T für das 0,5mm-aufgelöste 8-Bit-Gesamtpositionssignal bereitstellt.

Anhand eines Vergleiches der Fig. 4 bis 6 soll verdeutlicht werden, wie die Umschaltung bzw. die Positionsausgabe absolut funktioniert: Wie der Fig. 4 zu entnehmen ist, stehen insbesondere die Code-Abtastsensoren SC2 und SC0 an Übergangspositionen zwischen Polaritäten der Trägereinheit 10; dies ist verdeutlicht durch das Symbol "?" der zugehörigen Komparator-Ausgangsleitung der Einheit 14. Entsprechend wäre es sinnvoll und notwendig, für eine eindeutige Absolut-Positionserfassung die ungerade numerierten Code-Abtastsensoren SCi auszuwählen (entsprechend der Schalterstellung in der Multiplexereinheit 16 von Fig.4).

Dieses Umschaltsignal wird erzeugt, indem mittels der Interpolations-Komparatoreinheit 24, nachgeschaltet den Feininterpolationssensoren SF0 bis SF5, erkannt wird, dass der Ort der ersten Bitfolge von 0 auf 1 bzw. von 1 auf 0 nach dem dritten Bit der 18-Bit-Folge in der Verriegelungseinheit 26 erfolgt (wie in der Fig. 4 erkennbar ist, liegt dieser Wechsel zwischen den Feininterpolationssensoren SF0 und SF1). Die Einheit 28 interpretiert den Polaritätswechsel nach dem dritten Bit als Feinposition "1mm" und gibt entsprechend das (mit 4mm periodische) Feinpositionssignal "010" aus. Das höchstwertige Bit (MSB) dieses Signals liegt auf der Auswahlbitleitung 18 und steuert entsprechend den Multiplexer 16 so, dass die ungeraden Code-Abtastsensoren SC1, SC3, SC5... ausgewählt werden. Eindeutig liegt damit

das 5-Bit-Codewort "10100" an der Codetabelle 20 an und wird in eine Absolutposition von "00011" umgesetzt. Kombiniert mit dem 3-Bit-Feinpositions Wert entsteht so das in Fig. 4 gezeigte, 0,5mm auflösende Absolut-Positionssignal.

Dem gegenüber ist in Fig. 5 der Sensorkopf (und mithin sämtliche Abtastsensoren) um ca. 2mm in Fahrtrichtung 12 nach links verschoben. Dieser Abstand liegt nach wie vor im Bereich der 4mm-Auflösung der 5-Bit-Positionserfassung, mithin sollte das durch die Code-Abtastsensoren SCi erfasste Codewort identisch sein. Wie jedoch die Fig. 5 verdeutlicht, liegen in der gezeigten Sensorkopfposition die Code-Abtastsensoren SC1, SC3, SC5, SC7, SC9 jeweils im kritischen Übergangsbereich zwischen zwei Polen, so dass eine unexakte Sensorerfassung erfolgt. Entsprechend ist es bei der Realisierungsform der Fig. 5 erforderlich, zur Absolut-Positionserfassung die geradzahligen Sensoren SC0, SC2... auszuwerten.

Dieses Steuersignal wird wiederum durch die Feininterpolationssensoren SFj erzeugt, welche entsprechend verschoben worden sind. Das interpolierte Bitmuster in der Verriegelungsschaltung 26 verdeutlicht, dass hier nunmehr der Ort des ersten Wechsels der Bitfolge von 1 auf 0 nach dem siebten Bit erfolgt, entsprechend einem Fein-Positions Wert von 3mm (Bit-Ausgangssignal der Decodiereinheit 28:"110"). Entsprechend ist hier das 2mm-Bit als MSB gesetzt und steuert die Multiplexereinheit 16 so an, dass diese die geradzahlig indizierten Code-Abtastsensoren SCi auswählt.

Im Absolut-Positionssignal äussert sich damit die 2mm-Verschiebung lediglich im 2mm-Bit der niedrigwertigsten 3-Bit-Feinposition.

Die Fig. 6 verdeutlicht eine weitere Verschiebung des Sensorkopfes mit sämtlichen Sensoren entlang Pfeilrichtung 12, nochmals um 2mm gegenüber der Darstellung der Fig. 5. Der mit 4mm-Auflösung erfasste Absolut-Positionswert aus den

Code-Abtastsensoren SCi erbringt das Codewort "00100", generiert aus dem Komparatorsignal "01011", wobei, bei Wechsel der Feininterpolations-Bitfolge der Verriegelungseinheit 26 nach dem dritten Bit (entsprechend 1mm Feinposition), das 2mm-Bit des Feinpositionssignals (010) wiederum die ungeraden der mittels Komparatoreinheit 14 ausgewerteten Code-Abtastsensoren SCi auswählt. Entsprechend entsteht das gegenüber der Fig. 5 um 2mm, gegenüber Fig. 4 um 4mm verschobene 8-Bit-Absolutpositionssignal (0,5mm aufgelöst), wie im unteren Bereich von Fig. 6 erkennbar.

Aufgrund der hohen Arbeitsgeschwindigkeit der beschriebenen, einfachen Hardwarelösung kann ein benötigter Synchron-takt mehrere 100kHz betragen; dementsprechend wäre bereits nach einem Taktzyklus (<10ns) der betreffende Positions-wert aktualisiert.

Auf die beschriebene Weise kann damit nicht nur mit sehr preiswerten Bauelementen (es ist bei den Fig. 4 bis 6 gezeigten Ausführungsformen kein Microcontroller erforderlich) ein Positionserfassungssystem aufgebaut werden; auch sind durch die hohe Taktrate hohe Verfahrgeschwindigkeiten (16m/s und höher) möglich; die Meßrate ist praktisch nur von der Geschwindigkeit der Schnittstelle abhängig. Bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel ist eine Auflösung von 0,5mm realisierbar.

Im weiteren wird eine bevorzugte Weiterbildung der vorliegenden Erfindung beschrieben.

Bei dieser bevorzugten Ausführungsform wird das vorstehend beschriebene Längenmeßsystem ergänzend mit einem hochauflösenden magnetischen Sensor, sogenannten MR-Winkelsensor (z.B. dem Typ LK28 der Fa. IMO) kombiniert.

Die erfindungsgemäße Codierung bewirkt einen Magnetisierungsverlauf entlang der Trägereinheit, welcher sich aus annähernd sinusförmigen Halbwellen zusammensetzt, wobei, je

nach der Abfolge der Magnetisierungen, diese Halbwellen jeweils die Länge p oder $2*p$ aufweisen (längere Abschnitte derselben Polarität sind aus den eingangs erwähnten Gründen nicht möglich). Werden nunmehr derartige Halbwellen mit einem hochauflösenden Magnetfeldsensor, etwa dem weiterbildungsgemäß vorgesehenen MR-Winkelsensor, abgetastet und daraufhin dann die Sensorspannung mittels einer Arcus-Tangens-Funktion ausgewertet, entsteht ein Wert, welcher jeweils innerhalb eines Poles wegproportional ist; ein entsprechendes Signal-Wegdiagramm zeigt die Fig. 3 als Ergebnis einer derartigen Arcus-Tangens-Funktionsauswertung eines periodischen (idealerweise sinusförmigen) Magnetisierungsverlauf. Konkret zeigt die Fig. 3 die Sensorspannungen eines LK28-MR-Winkelsensors, welcher sich bei Abtastung der codierten Trägereinheit mit $p=4\text{mm}$ längs der Verfahrrichtung ergibt, Arcus-Tangens-interpoliert und so normiert wurde, dass die Minimalwerte bei 0mm und die Maximalwerte bei 4mm liegen.

Wie sich unmittelbar aus der Signalformdarstellung der Fig. 3 ergibt, welche im linken Bereich einen 8mm breiten Pol, im rechten Bereich einen 4mm breiten Pol zeigt, muss noch die Information für die verschiedenen breiten Pole unterschieden werden.

Konkret wird dies (durch geeignete Programmierung einer Controllereinheit) so gelöst, dass wenn sich der MR-Sensor über einem 4mm -Pol befindet, der interpolierte Positions-wert als hochauflösende Positionsinformation direkt übernommen wird. Wenn dagegen der MR-Sensor über einem 8mm -Pol steht, wird die hochauflösende Positionsinformation ermit-telt durch Multiplikation des interpolierten Wertes mit 2, und ggf. Subtraktion des Maximalwertes, wenn der sich ergebende Wert größer als der Maximalwert ist.

Entsprechend ergibt sich aus dieser Berechnungsvorschrift dann eine periodische hochauflösende Positionsinformation, wie sie i.ü. auch aus der sogenannten Inkrementalspur eines herkömmlichen Zweispursystems erhältlich ist.

Dabei bietet es sich an, die Information, ob der MR-Sensor sich über einem schmalen (hier: 4mm) oder über einem doppelten (8mm) Pol befindet, in einer Decodiertabelle abzulegen, wobei, vergleiche die Darstellung oben, dann zuerst das Positions-Codewort ermittelt wird und über die durch das Codewort angegebene Adresse der Decodiertabelle sowohl die Absolutposition, als auch die Anordnung der Pole unter der momentanen Position des MR-Sensors ausgelesen werden kann.

Eine (notwendige) Synchronisation zwischen der schrittweise interpolierten Absolutposition und der innerhalb einer Teilung periodischen hochauflösenden Position ist problemlos, da, wie oben dargelegt, die Absolutposition etwa mit einer Auflösung von 0,5mm ohnehin zur Verfügung steht.

Mittels eines geeignet konfigurierten Mikrocontrollers kann die Berechnung dann der hochauflösenden Gesamtposition vergleichsweise schnell und einfach durchgeführt werden, da nur wenige einfache Operationen (Vergleiche, Bitschiebungen, Additionen und Subtraktionen) notwendig sind. Insbesondere wird die mögliche Verfahrgeschwindigkeit nicht beeinträchtigt, wenn man einen Interpolatorchip mit paralleler Ausgabe des Positionswertes benutzt und den hochauflösenden Positionswert zeitgleich mit der absoluten Position durch den Synchrontakt gesteuert zwischenspeichert.

Die Fig. 7 verdeutlicht anhand eines gegenüber dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 bis 6 modifizierten Blockschaltbild die Weiterbildungsmöglichkeit der Erfindung mittels einer weiteren Interpolation für eine hochauflösende Positionsbestimmung.

Genauer gesagt ist der Anordnung, wie sie anhand der Fig. 4 bis 6 beschrieben wurde, ein weiterer hochauflösender MR-Sensor 40 zugeordnet, dessen Ausgangssignal in Sinus- und Kosinuskomponente einer Interpolationseinheit 42 zugeführt wird. Hier erfolgt, wie im Zusammenhang mit der Fig. 3 diskutiert, eine hochauflösende Positionserfassung innerhalb der vorgegebenen Polteilung, z.B. 4 Bit wie angegeben. Konkret würde, etwa im Fall einer 7-Bit-Interpolation, damit eine Auflösung von 31,25 Mikrometern ($4\text{mm}/2^7$) bzw. 62,5 μm für einen 8mm-Pol erreichbar sein.

Bei einem derartigen, hochauflösenden System ist jedoch ein Mikrocontroller 44 zur Synchronisation der Magnetfeld-Hall- und MR-Positionsinformation notwendig, auch zur Anpassung der MR-Positionsinformation an die Pollänge.

Wie in der Fig. 7 gezeigt, wird auch das hochauflösende Positionssignal der Interpolationseinheit 42 (Periode 4mm bzw. 8mm) in einer zugehörigen Verriegelungseinheit 46 gespeichert und dann, wie auch die weiteren Signale der Verriegelungseinheit 22 für die Absolut-Positionsdaten mit 0,5mm Auflösung, dem Controller 44 zugeleitet. Zusätzlich erhält der Controller über eine Verriegelungseinheit 48 Daten betreffend die Pollänge an der Stelle des MR-Sensors (etwa aus der Codetabelle 20), und die Controllereinheit 44 nimmt zusätzlich die oben im Zusammenhang mit der Fig. 3 diskutierte Entzerrung entlang der nicht-linearen Kennlinie des MR-Sensors vor.

Letztendlich liegt dann auf einer ausgangsseitigen Schnittstelle 50 das hochauflösende, absolute Positionssignal.

Kritisch ist es, die Messung mittels der Interpolationseinheit 42 bzw. des MR-Sensors 40 mit der Absolutposition der Einheit 22 zu synchronisieren, insbesondere im Hinblick auf einen möglichen vorauslaufenden bzw. hinterherlaufenden MR-Positionswert. Auch dies wird von der Controllereinheit 44 gelöst, wobei insbesondere die erläuterte Feininterpolation

(3-Bit-Positionssignal, 0,5mm Auflösung) der Controllereinheit 44 die Basis bietet, das Ergebnis der hochauflösenden Positionsbestimmung gemäß Verriegelungseinheit 46 eindeutig einer 4mm-Absolutposition zuzuordnen.

Im Ergebnis entsteht so eine hochleistungsfähige Absolut-Positionsbestimmung, welche die Hardware-technische Einfachheit des erfindungsgemäßen Absolut-Positionsbestimmungsprinzips (Fig. 4 bis Fig. 6) mit den technischen Möglichkeiten einer MR-Positionserfassung kombiniert.

Die auf realistische Meßwerten basierende Darstellung der Fig. 3 verdeutlicht Verzerrungen der Kennlinie des durch Interpolation gewonnenen Positionswertes, basierend auf eine nicht-idealen sinusförmigen Magnetisierungsverlauf. Eine dadurch bewirkte Ungenauigkeit kann durch eine numerische Lösung, insbesondere mithilfe einer Entzerrungstabelle, deutlich verbessert werden, wobei prinzipiell eine derartige Entzerrungstabelle für einen 4mm- bzw. 8mm-Pol (im obigen Ausführungsbeispiel) ausreichen würde. In der Praxis hat sich herausgestellt, dass nämlich die Verzerrungen von Polen gleicher Länge an allen Stellen der Codierung stark ähnlich sind. In der praktischen Realisierung lassen sich damit Auflösungen einer Genauigkeit und Größenordnung von 50 Mikrometern erzielen.

Im bevorzugter Weiterbildung der vorliegenden Erfindung bietet es sich an, die beschriebene Codierung, welche ja in der beschriebenen Weise einen Positionscode und, über die Codierung, auch ein Taktsignal beinhaltet, zur Realisierung eines einspurigen autoreferenzierenden Systems einzusetzen. Zu diesem Zweck muß immer mindestens ein Nulldurchgang detektiert werden, wie es etwa durch das im Zusammenhang mit der Abb. 2 aus sechs Sensoren realisierte System möglich wird. In dieser Realisierung spannen die sechs Hall-Sensoren mit Sensorabstand 2mm eine Gesamtlänge von 10mm auf und ermöglichen damit einen schlanken, kurzen Sen-

sorkopf; das entsprechende System wäre damit gut kurvengängig.

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die beschriebene Ausführungsform, insbesondere die darin verwendeten Sensorarten und Auswertmechanismen, beschränkt; insbesondere sind, je nach Anwendungsfall, geeignete andere Magnetfeldsensoren und -auswertprinzipien möglich, solange in der erfindungsgemäßen Weise die Codierung erfolgt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Positions- und/oder Längenbestimmung mit einer absolute magnetische Längencodierung aufweisenden Trägereinheit und einer mit der Trägereinheit zusammenwirkenden, relativ zu dieser bewegbar vorgesehenen Messeinheit, die eine magnetische Sensoreinheit aufweist und mit einer dieser nachgeschalteten elektronischen Auswerteeinheit verbindbar ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die langgestreckte, stangenförmige Trägereinheit einspurig mit der radial magnetisierten Längencodierung versehen ist,
entlang der Längencodierung eine Mehrzahl von Codierungsabschnitten mit einer regelmäßigen Polteilung vorgesehen ist
und Codierungsabschnitte einer ersten Polarität mit Codierungsabschnitten einer zweiten Polarität so abwechselnd entlang der Trägereinheit angeordnet sind, dass maximal zwei Codierungsabschnitte derselben Polarität einander unmittelbar benachbart auftreten.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Längencodierung als Binärcodierung auf der Basis einer binären Pseudozufallsfolge einer vorbestimmten Wortlänge erzeugt ist, wobei hinter jedem Bit der Pseudozufallsfolge ein im Wert demgegenüber invertiertes Bit eingefügt ist, so dass die Längencodierung eine gegenüber der Pseudozufallsfolge doppelte Länge aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetische Sensoreinheit so ausgebildet ist, dass sie eine jeweilige Polarität einer Mehrzahl von Codierungsabschnitten erfassen kann, die

jeweils um einen Abstand der doppelten kleinsten Polteilung voneinander beabstandet sind.

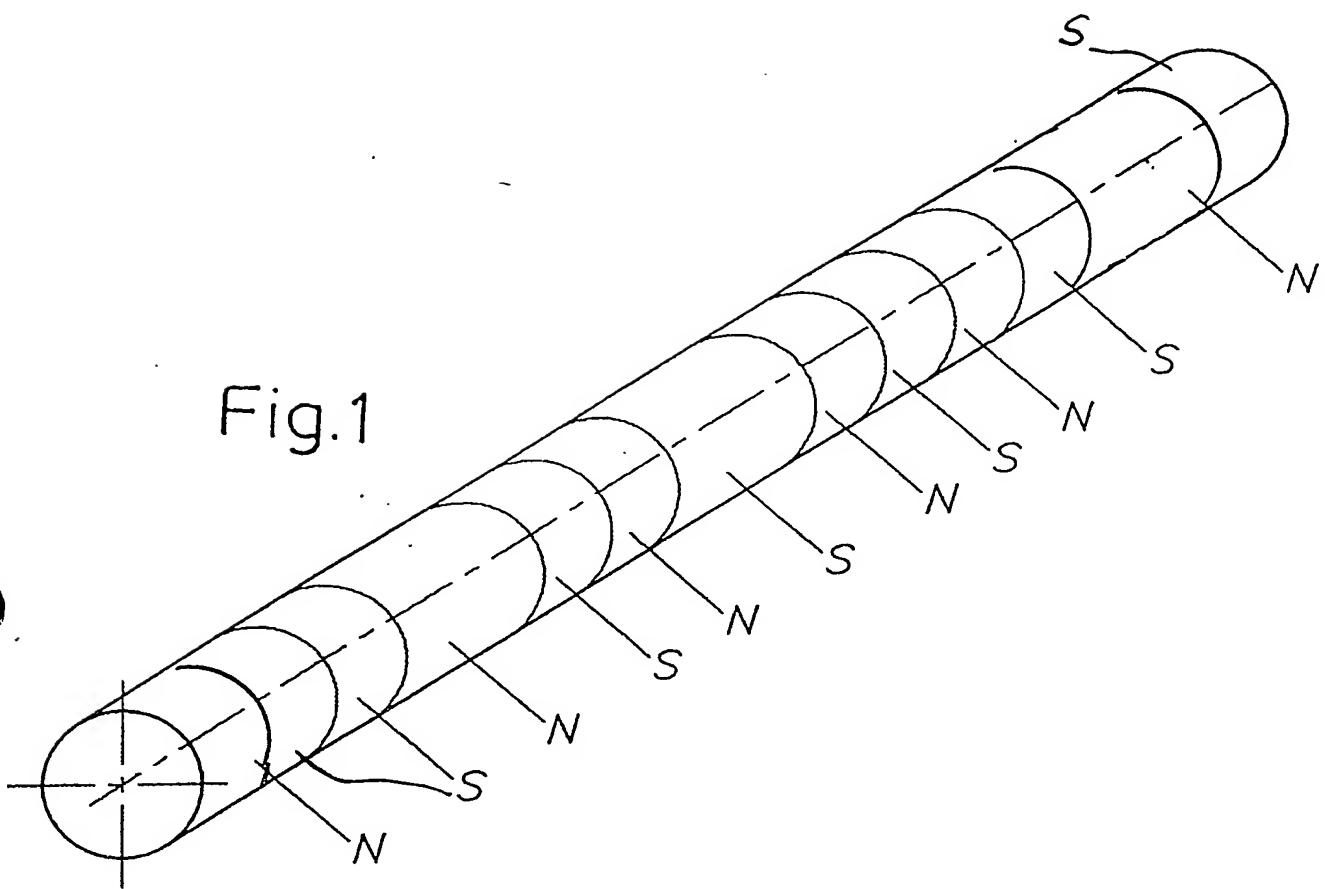
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrzahl von Codierungsabschnitten der Wortlänge plus 1 einer binären Pseudozufallsfolge als Basis für die Längencodierung entspricht.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass einem der kleinsten Polteilung entsprechenden Codierungsabschnitt eine Mehrzahl von Abtastsensoren der magnetischen Sensoreinheit zugeordnet ist, wobei Auswahlmittel zum selektiven Auswählen einer Mehrzahl von Abtastsensoren zur Auswertung durch die elektronische Auswerteeinheit vorgesehen sind, die zur Erfassung eines Übergangs zwischen der ersten und der zweiten Polarität zwischen zwei benachbarten Codierungsabschnitten ausgebildet sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswahlmittel mindestens fünf Interpolationssensoren aufweisen, die in regelmäßigen Abständen voneinander so angeordnet sind, dass der Abstand zwischen einem ersten und einem letzten der Abfolge von Interpolationssensoren mehr als das zweifache der Polteilung beträgt.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch Mittel zur Fein-Positionsbestimmung innerhalb eines Codierungsabschnittes bzw. einer Polteilung, die zum Erfassen eines Verlaufs der Magnetisierung entlang des Codierungsabschnittes in Längsrichtung der Längencodierung und zum Ermitteln eines wegproportionalen Interpolationssignals daraus ausgebildet sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Fein-Positionsbestimmung als mit der magnetischen Sensoreinheit und darin vorgesehenen Abtastsensoren zusammenwirkender MR-Sensor realisiert sind, der aus dem Magnetisierungsverlauf das Interpolationssignal ermittelt.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass den Mitteln zur Fein-Positionsbestimmung Korrekturmittel zugeordnet sind, die zum Entzerrern bzw. Kompensieren von Ausgangssignalen der Mittel zur Fein-Positionsbestimmung relativ zu einem idealisierten und/oder vorbestimmten Verlauf entlang des Codierungsabschnittes ausgebildet sind.
10. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 in einem autoreferenziellen System zur Längenmessung, insbesondere zur Verwendung in einer Werkzeugmaschine oder einer fördertechnischen Anlage.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Positions- und/oder Längenbestimmung mit einer absolute magnetischen Längencodierung aufweisenden Trägereinheit und einer mit der Trägereinheit zusammenwirkenden, relativ zu dieser bewegbar vorgesehenen Messeinheit, die eine magnetische Sensoreinheit aufweist und mit einer dieser nachgeschalteten elektronischen Auswerteeinheit verbindbar ist, wobei die langgestreckte, stangenförmige Trägereinheit einspurig mit der radial magnetisierten Längencodierung versehen ist, sowie entlang der Längencodierung eine Mehrzahl von Codierungsabschnitten mit einer regelmäßigen Polteilung vorgesehen ist und Codierungsabschnitte einer ersten Polarität mit Codierungsabschnitten einer zweiten Polarität so abwechselnd entlang der Trägereinheit angeordnet sind, dass maximal zwei Codierungsabschnitte derselben Polarität einander unmittelbar benachbart auftreten.

Fig.1



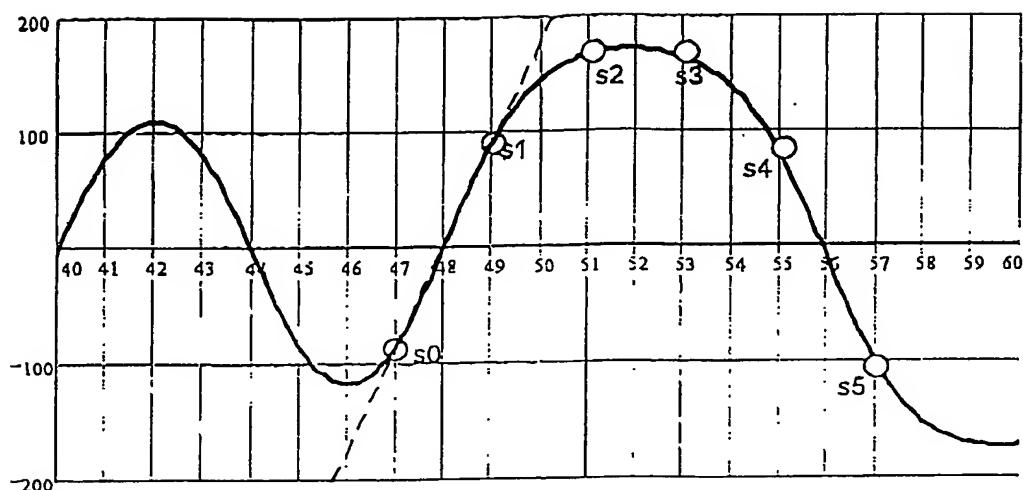


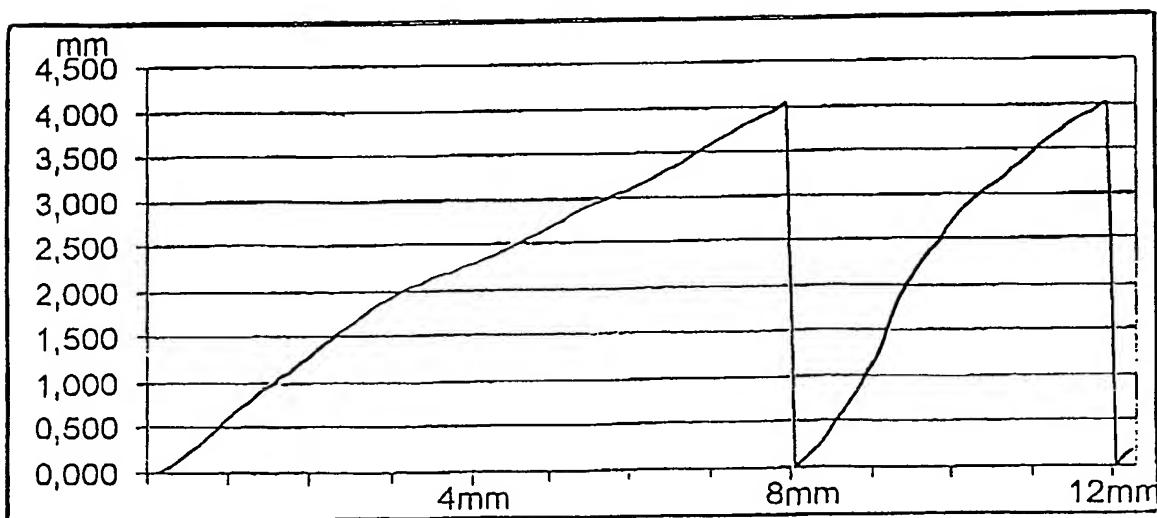
Fig.2

$$\begin{aligned}
 U_0(s_0) &= -86.173819123 \text{ mV} \\
 U(s_0) > 0 &\rightarrow 0 \\
 U(s_0) + 1/3 \cdot U(s_1) > 0 &\rightarrow 0 \\
 U(s_0) + U(s_1) > 0 &\rightarrow 1 \\
 1/3 \cdot U(s_0) + U(s_1) > 0 &\rightarrow 1 \\
 U(s_1) > 0 &\rightarrow 1
 \end{aligned}$$

$$U_0(s_1) = 90.53382374 \text{ mV}$$

$$\begin{aligned}
 \text{u.s.w. ... bis:} \\
 U(s_4) + 1/3 \cdot U(s_5) > 0 &\rightarrow 1
 \end{aligned}$$

Fig.3



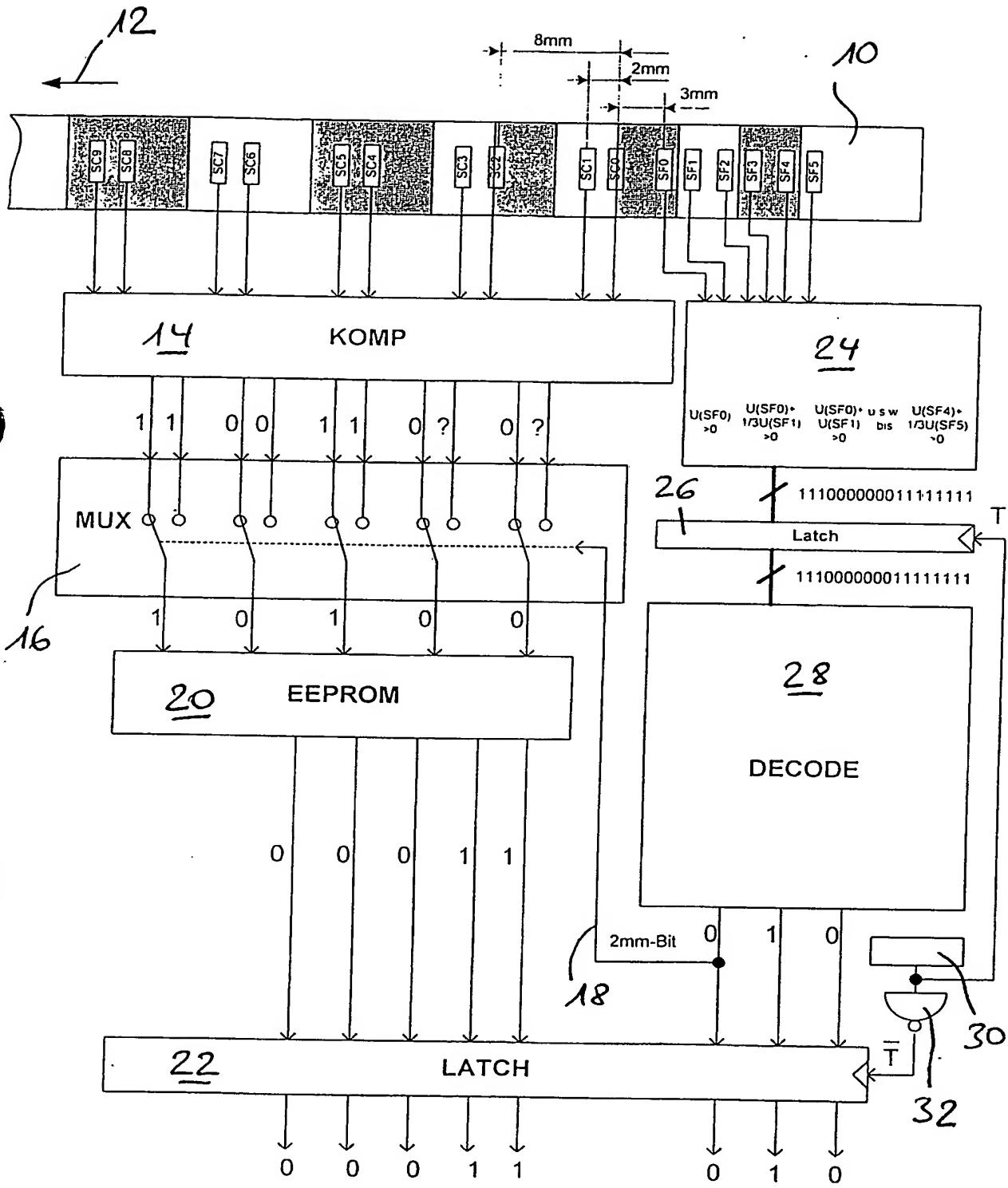


Fig. 4

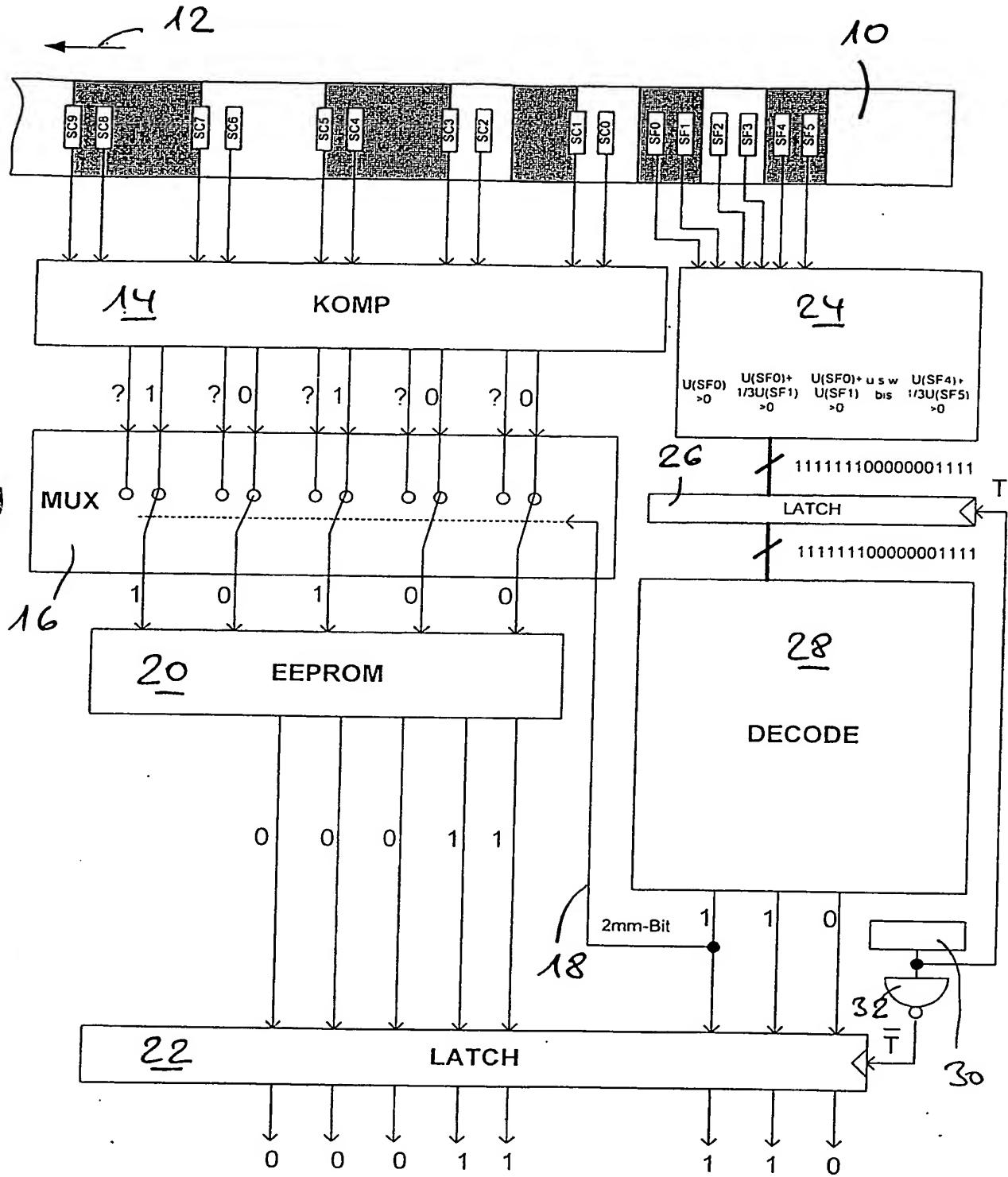


Fig. 5

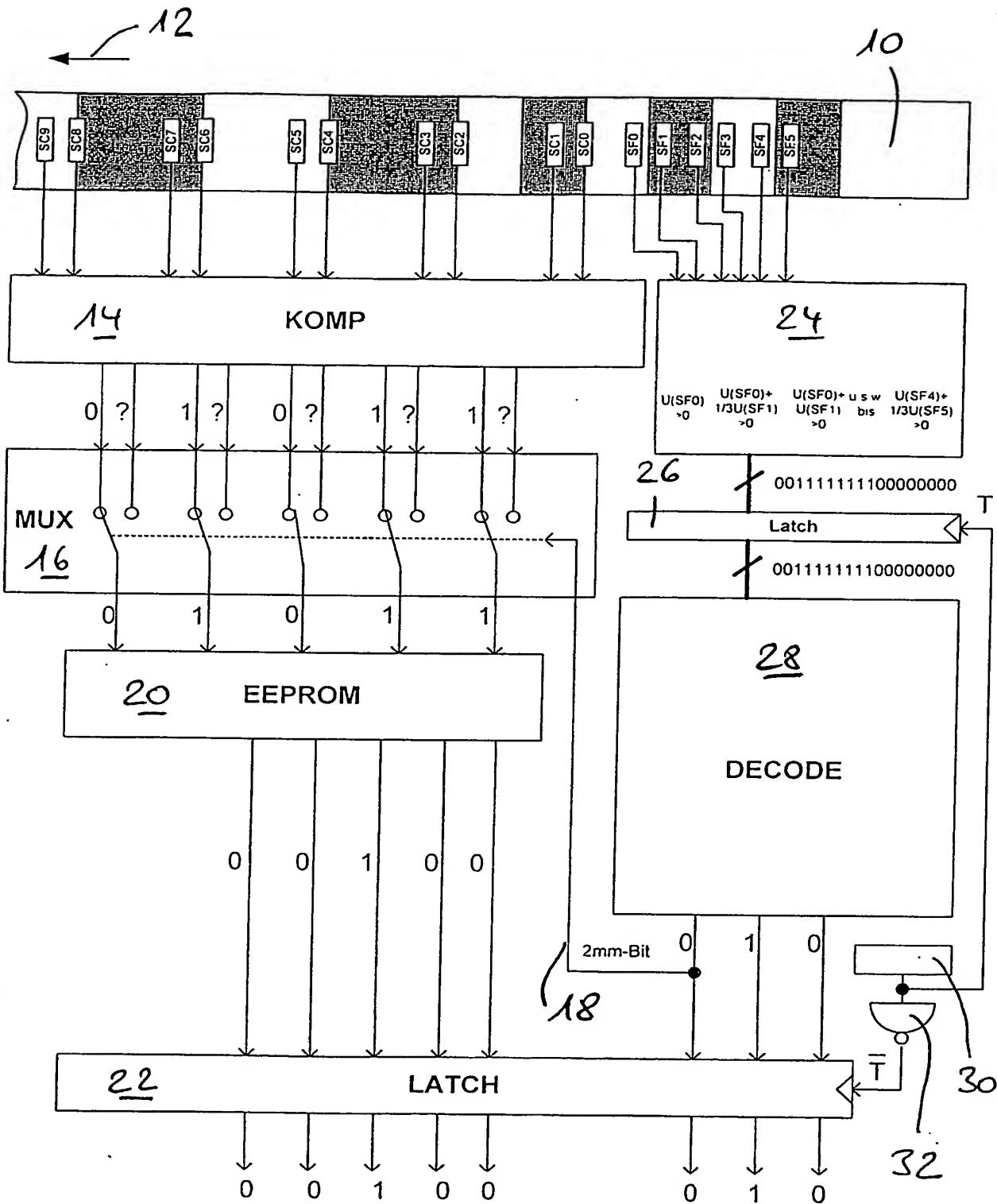


Fig. 6

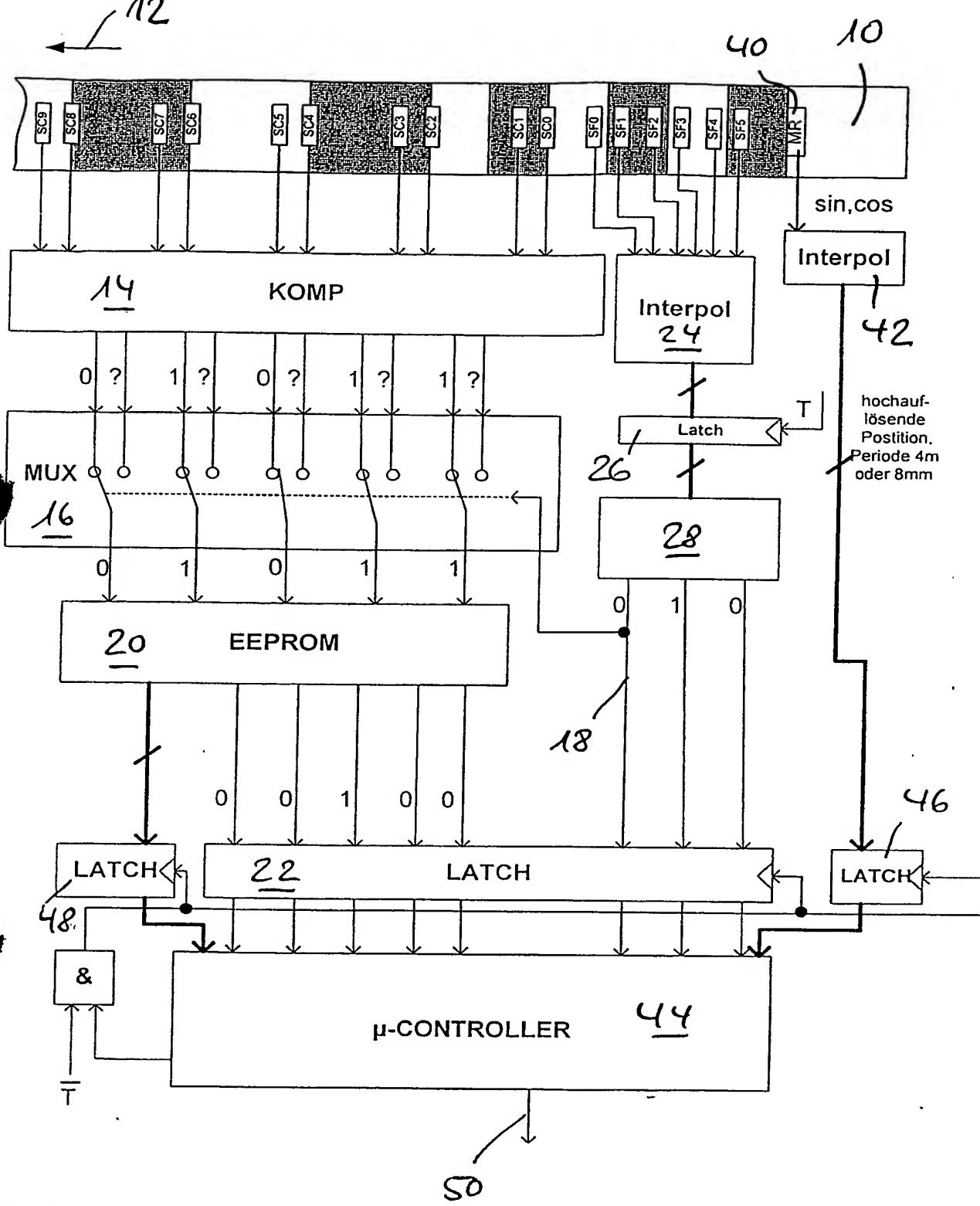


Fig. 7